Alle Verweise beziehen sich auf Abschnitte unseres Buches *Fotolithographie* welches Sie via *www.microchemicals.com/de/downloads/broschueren.html* beziehen können

UNGEWOHNTES ERSCHEINUNGSBILD DES FOTOLACKS UND DER LACKSCHICHT

Verfärbung?

i) Lagerzeit

Positiv- und Umkehrlacke dunkeln im Laufe der Zeit nach (s. Abschnitt 7.5 auf Seite 34), beschleunigt bei höheren Lagertemperaturen. Der Grund hierfür sind chemische Reaktionen des Fotoinitiators unter Bildung hoch absorbierender Azo-Farbstoffe. Diese Verfärbung tritt nur im sichtbaren Spektralbereich auf und hat keinen Einfluss auf die Prozessierung des Fotolacks. Da die Farbänderung sehr langsam abläuft, fällt sie meist erst bei einem Chargenwechsel des Fotolacks auf.

ii) Kontamination

Auch der Kontakt mit Wasser oder ungeeigneten Lösemitteln wie Isopropanol, oder ein Einfrieren von Fotolack kann eine Farbänderung bewirken. In diesen Fällen kann eine dauerhafte Schädigung des Fotolacks nicht ausgeschlossen werden.

iii) Substrat und Lackschichtdicke

Unterschiedliche Substratmaterialien lassen die Farbe der Lackschicht unterschiedlich aussehen.

Gerade bei dünnen Fotolackschichten kann eine durch Lösemittelverlust (Abb. 44 auf Seite 35), Überlagerung des Lacks (Abschnitt 7.5 auf Seite 34), oder geänderten Umgebungsbedingungen (Temperatur, Belackungssystem oder -parameter) bedingte Änderung der Lackschichtdicke um bereits wenige 10 nm einen interferenzbedingten Farbumschlag der Lackschicht bewirken.

iv) Nasschemische Prozesse

Durch den Angriff oxidierender Ätzmittel wie HNO_3-haltige Gemische oder durch hohe Backtemperaturen können Lackstrukturen bräunlich verfärben.

Unbelackte Stellen nach dem Belacken?

i) Lackbenetzung

Eine schlechte Lackbenetzung wie oftmals auf Edelmetallen oder nach HF-Dip von SiO_2-Oberflächen ohne vollständige Entfernung des Oxids (Abschnitt 8.3 auf Seite 39), unzureichend gereinigten Substraten (Abschnitt 8.1 auf Seite 37) oder hoher Luftfeuchtigkeit kann das Auftreten unbelackter Stellen auf dem Substrat fördern.

ii) Dispensierte Lackmenge

Beim Aufschleudern kann ein weiterer Grund für Lackabrisse eine zu geringe Lackmenge (die je nach Substratgröße, Lackschichtdicke und Lackviskosität empfohlene Menge beträgt 1 - 5 ml Lack/Substrat) oder dezentral auf dem Substrat dispensierter Lack sein.

iii) Schleuderprofil

Beim Aufschleudern auf glatten Substraten verbessert oftmals eine große Beschleunigung (einige 1000 U/min/s) auf die Endschleuderdrehzahl ohne vorheriges Anschleudern das Belackungsergebnis (Abb. 55 auf Seite 49).

Beim Aufschleudern auf texturierten Substraten ist ein langsames Anschleudern zum gleichmäßigen Verteilen des Lacks vor der Rampe auf die Endschleuderdrehzahl empfehlenswert, was jedoch relativ große Mengen an Lack erfordert.

iv) Partikel, Bläschen

Partikel und Gasbläschen sind oft die Ursache für Defekte in der Lackschicht (Abschnitt 10.5 auf Seite 50), die Ursachen und Abhilfen werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

Streifen, Bläschen und Partikel in der Lackschicht nach dem Belacken?

i) Luftbläschen

Luftbläschen im Fotolack wirken als Startpunkt für Lackabrisse (Abschnitt 10.5 auf Seite 50). Luftbläschen können beim Umfüllen oder Bewegen von Fotolack in diesen gelangen und benötigen je nach dessen Viskosität einige Stunden Wartezeit (bei sehr hoch viskosen Lacken auch Tage) vor dem Dispensieren um an die Oberfläche zu steigen. Auch beim Aufziehen von Lack in eine Küvette oder Pipette können Luftbläschen mit eingesaugt werden.

ii) Stickstoff-Bläschen

N_2-Bläschen wirken ebenso als Startpunkt für Lackabrisse (Abschnitt 10.5 auf Seite 50) und haben ihren Ursprung im allmählichen Zerfall des Fotoinitiators, bei welchem Stickstoff freigesetzt wird. Werden Lackflaschen über längere Zeit gelagert löst sich der N_2 im Lack und perlt beim Öffnen des Gebindes durch den plötzlichen Druckabfall aus. Auch hier hilft eine Wartezeit vor dem Dispensieren, je nach Lackviskosität von bis zu mehreren Stunden, bei geöffnetem aber aufgesetztem Deckel, um die N2-Bläschen nach oben steigen zu lassen. Stickstoff kann sich auch im Lack lösen, wenn dieser (statt einer Lackpumpe zum Fördern von Fotolack) via Druckbeaufschlagung auf das Substrat verwendet wird.

iii) Partikel

Partikel können in ähnlicher Weise wie Luft- oder Gasbläschen zu einem inhomogenen Belackungsergebnis führen. Befinden sich Partikel bereits auf dem Substrat kann dies an einer unzureichenden Substratreinigung, wie auch ungenügenden Reinraumklasse am Ort der Belackung liegen (Abschnitt 10.5 auf Seite 50).

Partikel im Lack können ihren Ursprung im Umfüllen in unzureichend gereinigten Gefäßen oder überlagerten = gealterten Lacken haben (Abschnitt 7.5 auf Seite 34). Zu hohe Lagertemperaturen oder eine zusätzliche Verdünnung beschleunigen die Lackalterung (Abschnitt 7.4 auf Seite 33).

Bläschen in der Lackschicht erst nach dem Softbake?

i) Flüchtige Lackbestandteile

Einige Lacke wie der AZ® 40XT beinhalten auch höher-flüchtige Bestandteile an Harz oder Lösemittel, welche während typischer Softbake-Temperaturen verdampfen und dabei auch mit dem Auge gut sichtbare Bläschen in der Lackschicht bilden. In diesem Fall sollte die Erwärmung auf die Softbake-Zieltemperatur ausreichend langsam erfolgen (z. B. über das langsame Annähern des Substrats auf einer Proximity-Hotplate falls vorhanden; mehrminütige Temperatur-Rampen wie z. B. 60 ... 80 ... 100°C auf einer Kontakt-Hotplate; oder einer Temperaturrampe in einem Ofen).

ii) Ausgasende Substrate

Aus bestimmten poylmerischen Substraten können beim Softbake flüchtige Bestandteile verdampfen, welche in der darüber liegenden Lackschicht Bläschen bilden. Abhilfe kann ein Ausheizen der noch unbelackten Substrate bringen.

iii) Eingeschlossene Luftbläschen

Evtl. befinden sich bereits vor dem Softbake mit dem bloßen Auge nicht sichtbare Bläschen in der Lackschicht, welche erst während des Softbake zu größeren, nun besser sichtbaren Bläschen zusammen wachsen. Ursachen für Bläschen nach dem Belacken sind im Abschnitt 36.3 beschrieben.

Matte oder wellige Lackoberfläche nach dem Beschichten?

i) Überlagerter Lack

Deren Ursache ist meist eine derart hohe Partikelkonzentration, wie sie nur im Lack durch eine Überlagerung (Abschnitt 7.5 auf Seite 34) oder den Kontakt zu ungeeigneten Lösemitteln entstanden sein kann. Zu hohe Lagertemperaturen oder eine starke Verdünnung (Abschnitt 7.4 auf Seite 33) beschleunigen die Lackalterung. Eine weitere Verwendung des Lacks evtl. verbunden mit Partikel filtration, ist nicht empfehlenswert, da die Partikelbildung mit einem Verlust an Fotoinitiator verbunden ist.

ii) Stark verdünnte Lacke

Zu lange bei Raumtemperatur und darüber gelagerte, v. a. hoch verdünnte Lacke zeigen gelegentlich eine „Gelierung“, welche sich in einer Art makroskopischer „Klümpchen“ in der Lackschicht äußert. Diese Alterungserscheinung ist irreversibel und durch eine Filtration kaum zu beseitigen.

BELACKUNGSTECHNIKEN: HÄUFIGE PROBLEMSTELLUNGEN

Aufschleudern: Randwall? (Weitere Erläuterungen hierzu in Abschnitt 10.3 auf Seite 48)

i) Hochviskose Lacke

Die Verwendung ausreichend hoch-viskoser Lacke (z. B. der AZ® 4562 oder AZ® 9260 für 5 - 30 µm Lackschichtdicke, oder die Ultradicklacke AZ® 40 XT oder 125 nXT für Schichten > 30 µm) bei hoher Schleuderdrehzahl führt zu einem deutlich geringer ausgeprägten Randwall als das langsame Aufschleudern niedrigviskoser Lacke.

ii) Runde Substrate

Dynamische Randwallentfernung bei ca. 500 U/min mit AZ® EBR Solvent (keine Lösemittel mit hohem Dampfdruck wie z. B. Aceton!). Falls keine automatische Einheit zur Randwallentfernung installiert ist, auch manuell aus einer Waschflasche mit feiner Spritzdüse, unmittelbar gefolgt von einem Abschleudern des Lösemittels bei höheren Schleuderdrehzahlen.

iii) Eckige Substrate

Falls möglich ein Entfernen (Brechen) der Randstücke des Substrates samt Randwall oder ein Abwischen des Randwalls mit Reinraumtüchern und Lösemittel.

Ein Aufbau auf dem Substratteller (z. B. Blechscheibe) mit einer Vertiefung, welche das Substrat beim Belacken lateral und vertikal bündig aufnimmt, wie es mittlerweile einige Hersteller von Belackern anbieten.

iv) Lackuntypisch hohe Lackschichtdicken

Bei Lackschichtdicken deutlich über der Standarddicke des jeweiligen Lacks: Eine höhere Schleuderdrehzahl (2000 - 4000 U/min) für wenige Sekunden mit steilen Auf- und Abwärtsrampen anstelle geringer Schleuderdrehzahlen für längere Zeit.

v) Abschleudern des Randwalls

Ein Abschleudern des Randwalls durch abrupte Zunahme der Schleuderdrehzahl optimalerweise dann, wenn die Lackschicht schon ausreichend angetrocknet, der Randwall aber noch flüssig genug für einen Abriss ist.

vi) Mehrfachbelackung

Eine Mehrfachbelackung mit jeweils höherer Schleuderdrehzahl erfordert höher viskose Lacke sowie einen kurzen Softbake zwischen den Belackungsschritten, um ein Anlösen der bereits aufgebrachten Lackschicht zu unterdrücken.

vii) Wartezeit zwischen Belackung und Softbake

Eine von der Lackschichtdicke und dem Restlösemittelgehalt abhängige Wartezeit (Substrat horizontal gelagert, um ein laterales Fließen zu vermeiden) zwischen Belackung und Softbake, um eine Erhöhung des bestehenden Randwalls durch die bei hohen Temperaturen abnehmende Viskosität der Lackschicht zu verhindern (bei sehr dicken Lackschichten evtl. eine graduelle oder stufenförmige Temperaturrampe von Raumtemperatur auf die Zieltemperatur).

viii) Wegentwickeln des Randwalls

Ein Belichten und Entwickeln des Randwalls ist bei Positiv- oder Umkehrlacken ebenfalls möglich, kann aber durch die Einwirkung des Entwicklers vor der Belichtung zu einem T-Topping der erzielten Lackstrukturen führen.

Aufschleudern: Kometenhafte Strukturen?

i) Luft- oder Stickstoffbläschen

Diese radial-strahlenförmigen Lackinhomogenitäten haben ihren Ursprung meist in Luft- oder N_2-Blasen, seltener in Partikeln, welche beim Aufschleudern zum Rand des Substrats getrieben werden. Ursachen und Abhilfen sind in den Abschnitten 36.2 und 36.3 beschrieben.

Aufschleudern: Substrat teilweise unbelackt?

i) Ursachen und Abhilfen siehe Abschnitt 37.2.

Sprühbelackung: Unzureichende Kantenbedeckung?

i) Lackzusammensetzung (Lösemittel)

Eine zu hohe Konzentration v. a. hochsiedender Lösemittel lässt die gerade gebildete Lackschicht zu stark von Kanten der Textur zurückfließen. Fragen Sie uns nach geeigneten Verdünnungsrezepturen für Sprühlacke!

ii) Equipment

Änderungen am Equipment (geringere Distanz zwischen Sprühkopf und Substrat oder größere Tröpfchenradien) können die Lösemittelkonzentration der auf dem Substrat auftreffenden Tröpfchen erhöhen und damit zu einem zu starken Fließen des Lackfilms führen. Falls technisch umsetzbar, kann auch ein z. B. auf 40 - 60°C erwärmtes Substrat während der Sprühbelackung zu einer rascheren Trocknung des Lacks und einem rascheren Stopp des Verfließens führen.

Sprühbelackung: Raue Lackschicht

i) Lackzusammensetzung (Lösemittel)

Eine zu geringe Konzentration v. a. hoch-siedender Lösemittel verhindert, dass die auf dem Substrat auftreffenden Lacktröpfchen verfließen und so die Lackschicht glätten können (Abschnitte 11.4 auf Seite 55 und 11.5 auf Seite 56). Fragen Sie uns nach geeigneten Verdünnungsrezepturen für Sprühlacke!

ii) Equipment

Änderungen am Equipment (größere Distanz zwischen Sprühkopf und Substrat oder kleinere Tröpfchenradien) können die Lösemittelkonzentration der auf dem Substrat auftreffenden Tröpfchen verringern und damit eine Glättung der gebildeten Lackschicht verhindern (Abschnitt 11.3 auf Seite 54).

Tauchbeschichtung: Inhomogene Lackschichtdicke?

i) Lackzusammensetzung (Lösemittel)

Variiert die erzielte Lackschichtdicke über das gesamte Substrat in Ziehrichtung, ist zu langsam antrocknender, am Substrat nach unten abfließender Lack die Ursache. Für die Tauchbeschichtung optimierte Lacke (Abschnitt 12.3 auf Seite 58) wie der *MC Dip Coating Resist* (Abschnitt 53.6 auf Seite 183) besitzen eine Lösemittelzusammensetzung, welche homogene Lackschichtdicken erlaubt.

ii) Überlagerter Lack

Tauchlacke sind üblicherweise stark verdünnt, und gerade bei Raumtemperatur anfälliger für eine rasche Alterung mit Partikel- oder Klümpchenbildung (Abschnitt 7.4 auf Seite 33), welche zu Inhomogenitäten der gebildeten Lackschicht führen. In diesem Fall hilft nur ein vollständiger Austausch des Lacks.

iii) Equipment

Vibrationen (durch den Schrittmotor der Ziehvorrichtung oder Erschütterungen der Umgebung) oder Schwankungen der Luftströmung führen zu rel. starken Schichtdickeninhomogenitäten parallel zur Oberfläche des Lacks im Becken. Auch sollte darauf geachtet werden, dass die Aufhängung des Substrats nicht mit in den Lack eintaucht, sonst stört der daran abfließende Lack die Homogenität der Beschichtung (Abschnitt 12.2 auf Seite 57).

Walzenbeschichtung: Inhomogene Lackschicht

i) Geeigneter Lack?

Für die Walzenbeschichtung optimierte Lacke weisen thixotrope Eigenschaften auf, d. h. eine unter mechanischem Druck veränderliche Viskosität, was bei der Walzenbeschichtung zu homogeneren Ergebnissen führt als die Verwendung von „normalen“ Fotolacken.

Siebdruck: Grundsätzliche Eignung von Fotolacken

i) Geeigneter Lack?

Die mechanischen Eigenschaften von Fotolacken bringen in der Regel keine guten Ergebnisse für deren Aufbringen mittels Siebdruckverfahren. Soll diese Belackungstechnik dennoch eingesetzt werden, empfehlen sich Versuche mit hochviskosen Dicklacken wie den Positivlacken AZ® 4562, AZ® 9260 oder AZ® 40 XT, oder den Negativlacken AZ® 15 nXT oder AZ® 125 nXT.

BELICHTUNGSTECHNIKEN: HÄUFIGE PROBLEMSTELLUNGEN

Laserschreiben

i) Bläschen oder Risse in der Lackschicht?

Zeigen sich Bläschen oder Risse nach der Belichtung in der Positiv- oder Umkehrlackschicht, liegt dies in der durch die hohen Lichtintensitäten hohen N_2-Generation bei der Umwandlung des Fotoinitiators während der Fotoreaktion. Neben der Verwendung von Fotoinitiator-ärmeren Lacken wie dem AZ® 4562 oder AZ® 9260 oder dem AZ® 40 XT welcher beim Belichten gar kein N_2 freisetzt kann auch ein längerer/heißerer Softbake (Abschnitt 13.5 auf Seite 63), sowie eine optimierte Lackhaftung (Kapitel 8 auf Seite 37) Abhilfe schaffen. Bleibt die Bläschen- oder Rissbildung dennoch bestehen, muss entweder die Schreibzeit bei verringerter Laserleistung erhöht, oder das Laserschreiben in mehrere Zyklen aufgeteilt werden.

ii) Hitzeentwicklung in der Lackschicht?

Kann der belichtete Lack auch trotz ausreichender Lichtdosis nicht entwickelt, oder der unmittelbar benachbarte, unbelichtete Lack nicht entfernt werden, ist die Lackschicht durch die hohe Lichtintensität evtl. zu heiß geworden. Hierbei vernetzt das Harz des Lacks welcher dabei seine Löslichkeit in vielen Medien verliert. Falls die Laserleistung nicht weiter verringert werden kann, hilft evtl ein mehrstufiges Schreiben mit jeweils verringerter Dosis.

iii) Fokussierung des Laserstrahls

V. a. bei dickeren Schichten DNQ-basierter Positivlacke kann sich der Lack beim Belichten durch den in den belichteten Stellen gebildeten Stickstoff (vgl. Abschnitt 16.13) etwas aufblähen, was die Fokussierung des Lasers in der Lackschicht beeinträchtigt. Dagegen hilft ein mehrfaches Laserschreiben mit Pausen dazwischen, um den dabei jeweils neu gebildeten Stickstoff aus der Lackschicht ausgasen zu lassen.

Laserinterferenz-Lithografie

i) Bzgl. starken Verdünnungen geeigneter Fotolack?

Hierbei werden oft sehr dünne Lackschichten benötigt, welche meist nur durch Verdünnen bestehender Lacke erreicht werden können. Während z. B. die AZ® 1500 und AZ® 6600 Lackserien auf zu starke Verdünnung mit rascher Partikelbildung reagieren (Abschnitt 7.4 auf Seite 33), eignen sich der AZ® 701 MiR und die AZ® ECI 3000 Serie auch für hohe Verdünnungen, wofür wir das Lösemittel PGMEA = *AZ® EBR Solvent* empfehlen.

ii) Ausreichend hochauflösender Fotolack?

Die bei der Laserinterferenz-Lithografie oftmals geforderten sehr hohen Auflösungen im sub-µm Bereich lassen sich nur mit bestimmten Lacken erzielen. Wir empfehlen den temperaturstabilen AZ® 701 MiR für nachfolgende trockenchemische oder die AZ® ECI 3000 Serie für nachfolgende nasschemische Prozesse.

Belichtungswellenlängen außerhalb der Absorptionsbanden des Fotolacks

i) Zu große Belichtungswellenlänge?

Zu große Wellenlängen (z. B. > 450 nm bei Breitband-Lacken) sind zum Belichten bedingt geeignet, da der Empfindlichkeitsbereich von Fotolacken nicht abrupt endet, sondern über mehrere 10 nm Wellenlänge gegen Null abfällt (Abb. 40 auf Seite 29). Jedoch werden durch die schwache Absorption die zur vollständigen Belichtung notwendigen Lichtdosen mit zunehmender Wellenlänge sehr groß. Durch die hohe Eindringtiefe des Lichts steigt auch die Gefahr, dass bei transparenten oder rauen/texturierten Substraten das Licht lateral sehr weit geführt wird was die erzielbare Auflösung verringert (Abschnitt 16.9 auf Seite 82).

ii) Belichtungswellenlänge zu klein?

Zu kleine Wellenlängen (< 340 nm für i-line- und Breitband-Lacke) erhöhen nur theoretisch die mögliche Auflösung. Durch die geringe Eindringtiefe des Lichts und die parasitäre Absorption bereits umgewandelten Fotoinitiators nimmt die zur Durchbelichtung der Lackschicht notwendige Lichtdosis stark zu was durch die bei geringen Wellenlängen immer stärker auftretende Rayleigh-Streuung die erzielte Auflösung oft verschlechtert.

Verkleben der Lackschicht mit der Maske

i) Zu viel Restlösemittel?

Nach einem zu kurzen/kühlen Softbake ist der Restlösemittelanteil der Lackschicht u. U. so hoch, dass ein Verkleben mit der Fotomaske stattfindet. Wir empfehlen eine Softbaketemperatur von 100°C für eine Minute je µm Lackschichtdicke auf der Hotplate, im Ofen durch die Dauer der Erwärmung einige Minuten länger (Abschnitte 13.5 und 13.6 auf Seite 64).

ii) Partikel oder Bläschen in der Lackschicht?

Partikel auf der Maske können in den Lack gepresst werden und beim Entfernen der Maske die Lackschicht teilweise vom Substrat abziehen.

iii) Hard-Contact?

Ein Hard-Contact beim Belichten fördert ein Verkleben der Lackschicht mit der Maske. Falls anwendbar, kann ein Soft-Contact Modus Abhilfe schaffen. Dies gilt besonders für Lacke wie dem AZ® 40 XT oder AZ® 125 nXT, welche auch nach dem Softbake noch relativ niederviskos sind.

iv) Schlechte Lackhaftung zum Substrat?

Eine schlechte Lackhaftung erhöht grundsätzlich die Gefahr, dass die Lackschicht stellenweise von der Fotomaske abgezogen wird. Hinweise zur Haftungsverbesserung gibt Kapitel 41.

v) ARC-Coating als Lösung

Eine Beschichtung der Lackschicht mit dem (eigentlich als Antire flexschicht gedachten) AZ® Aquatar kann die „Klebrigkeit“ der Oberfläche der Lackschicht ebenfalls verringern. AZ® Aquatar ist wasserlöslich und wird zu Beginn der Entwicklung automatisch entfernt.

ENTWICKLUNG: ZU GERINGE ENTWICKLUNGSRATE

Ausreichende Rehydrierung?

i) Ausreichend lange Rehydrierung?

DNQ-basierte Positivlacke (die meisten AZ® Positivlacke außer z. B. dem AZ® 40 XT) und Umkehrlacke benötigen während der Belichtung eine Mindestmenge an Wasser im Lackvolumen, welches nach dem Softbake oder Umkehrbackschritt wieder über die Luftfeuchtigkeit zugeführt werden muss (Kapitel 14). Die notwendige Dauer hängt stark von der Lackschichtdicke ab und beträgt zwischen etwa einer Minute für 1 µm dicke Lackschichten und mehreren Stunden für mehrere 10 µm dicke Schichten (Abb. 74 auf Seite 67).

ii) Ausreichende Luftfeuchte?

Bei ausreichend langer Rehydrierung bestimmt die Höhe der Luftfeuchte die erzielbare Entwicklungsrate. Deshalb empfehlen wir eine möglichst konstante relative Luftfeuchte von etwa 40 - 50 %.

iii) Rehydrierung rückgängig gemacht?

Eine ausreichende Rehydrierung kann mit der gleichen Zeitkonstante wieder rückgängig gemacht werden, wenn die Lackschicht vor oder während des Belichtens wieder einer geringen Luftfeuchte ausgesetzt wird (Abschnitt 14.2 auf Seite 67).

Ausreichende Belichtungsdosis bei Positivlacken?

i) Optimierte Belichtungsdosis?

Grundsätzlich hängt die notwendige Belichtungsdauer neben dem Fotolack und dessen Schichtdicke auch von der spektralen Emission der Lichtquelle und der spektralen Empfindlichkeit des Fotolacks ab (16.5 auf Seite 76). Eine Belichtungsreihe mit Bestimmung der Lichtdosis-abhängigen Entwicklungsrate (Abb. 84 auf Seite 78) empfiehlt sich stets bei neuen Prozessen, Lacken oder Änderungen am Belichter.

ii) Dünne Fotolackschichten?

Bei dünnen Fotolackschichten (Lackschichtdicke < Eindringtiefe des Lichts) bewirkt eine zu geringe Lichtdosis eine konstante, geringe Entwicklungsrate (Abschnitt 16.6 auf Seite 77). Da die Lackschicht von Anfang an bis zum Substrat belichtet wird spielen dessen optische Eigenschaften (Transmission und Reflexion) eine entscheidende Rolle für die Größe der notwendigen Lichtdosis.

iii) Dicke Fotolackschichten

Bei dicken Lackschichten (Lackschichtdicke > Eindringtiefe des Lichts) bewirkt eine zu geringe Lichtdosis eine konstante Entwicklungsrate bis zu einer bestimmten Tiefe, von der an die Rate auf nahe Null sinkt (Abschnitt 16.6 auf Seite 77).

Kompatibler Entwickler?

i) Zusammenspiel von Lack und Entwickler

Nicht jeder Fotolack lässt sich mit jedem Entwickler entwickeln (s. Angaben in den Abschnitten 53.3 - 53.6 ab Seite 181). Beispielsweise erfordern der AZ® 4533 und 4562 für rückstandsfreies Entwickeln den KOH-basierten AZ® 400K oder den TMAH-basierten AZ® 826 MIF. Für die Negativlacke der AZ® nLOF 2000 Serie, den AZ® 15 nXT oder 125 nXT empfiehlt sich auf gleichem Grund ein TMAH-basierter Entwickler wie der AZ® 326 MIF, 726 MIF oder 826 MIF, wobei letzterer durch ein als Scum-Remover wirkendes Additiv besonders dazu geeignet ist, schwer entwickelbare Lackbereiche sauber zu entfernen. Der AZ® 111 XFS muss mit dem AZ® 303 entwickelt werden.

Entwickler noch aktiv?

i) Neutralisation durch Kohlendioxid

CO_2-Eintrag aus der Luft begrenzt die Standzeit offener Entwicklerbäder um so stärker, je größer das Verhältnis von Flüssigkeitsoberfläche zu -volumen ist (kleine Gefäße). Eine Beaufschlagung des Entwicklerbades mit Stickstoff verlängert die Standzeit. Auch in verschlossenen Behältern lässt durch CO_2-Diffusion durch die Behälterwandung die Aktivität von Entwicklern im Laufe der Zeit nach, was im Resthaltbarkeitsdatum des Entwicklers berücksichtigt ist (Abschnitt 7.6 auf Seite 35).

ii) Erschöpfung furch entwickelten Fotolack

Eine Anreicherung mit entwickeltem Fotolack begrenzt die Kapazität von Entwicklern, welche spätestens dann erschöpft, wenn das Entwicklerbad einige Promille seines Eigenvolumens an Fotolack entwickelt hat (Abschnitt 18.6 auf Seite 94).

Entwickler zu stark verdünnt?

i) Konzentrate vs. ready-to-use Entwickler

Die Entwickler AZ® 400K und AZ® 351B werden üblicherweise 1 : 4 mit Wasser verdünnt angewandt, der AZ® Developer kann konzentriert bis 1 : 1 verdünnt eingesetzt werden. Die TMAH-basierten Entwickler AZ® 326 MIF, 726 MIF und 826 MIF kommen in der Regel unverdünnt zum Einsatz. Beim AZ® 303 liegen typische Verdünnungsverhältnisse bei 1 : 4 (für den AZ® 111 XFS) und 1 : 5 ... 1 : 8 (übrige Lacke). Bei sehr dünnen Fotolackschichten oder sehr feinen Strukturen kann auf Kosten der Entwicklungsrate eine bis etwa eineinhalb mal höhere Verdünnung helfen, das Entwicklungsergebnis reproduzierbarer zu gestalten (vgl. auch Abb. 96 auf Seite 92).

HMDS korrekt angewandt, oder Kontamination mit anderen Medien?

i) Korrekte Anwendung von HMDS

Wird HMDS aufgeschleudert bzw. bei Raumtemperatur aus der Gasphase aufgebracht, oder dringen die Dämpfe von abgeschleudertem HMDS beim Belacken in die Lackschicht ein, aktiviert sich das HMDS unter der Fotolackschicht erst während des Softbakes. Das hierbei abgespaltene Ammoniak kann v. a. Substratnahe Fotolackbereiche chemisch verändern (quervernetzen) und damit eine (Durch-)entwicklung verhindern bzw. die Entwicklungsrate verringern (Abb. 48 auf Seite 39). Wir empfehlen dringend, HMDS aus der Gasphase auf beheizte Substrate aufzubringen (Abschnitt 8.2 auf Seite 38) und Lack als auch Lackschicht fern von HMDS-Dämpfen zu halten. Aus diesem Grund darf HMDS auch auf keinen Fall in Lackschleudern eingesetzt werden, in der parallel Belackungen mit Fotolack durchgeführt werden.

ii) Kontamination aus der Luft

Viele häufig in Reinräumen eingesetzte Stoffe wie Ammoniak oder Chlorbenzol können über die Gasphase in die Lackschicht eindringen, diese bei nachfolgenden Backschritten (z. B. Softbake) quervernetzen oder anderweitig chemisch stabilisieren und so die Entwicklungsrate verringern.

Thermische Zersetzung des Fotoinitiators?

i) Während der Lagerung

Durch eine zu lange oder bei zu hohen Temperaturen erfolgte Lagerung von Fotolack, zerfällt bereits vor dessen Prozessierung ein zunehmender Teil des Fotoinitiators, wodurch die erzielte Entwicklungsrate sinkt. In Grenzen kann eine angepasste Lichtdosis, ein schärfer angesetzter Entwickler oder eine längere Entwicklungsdauer diesen Zerfall kompensieren, allerdings mit der Konsequenz eines höheren Dunkelabtrags.

ii) Beim Softbake

Die fotoempfindliche Komponente von Fotolacken ist temperaturempfindlich. Übersteigen Dauer und Temperatur von Softbake, Umkehrbackschritt (oder der Post Exposure Bake bei Negativlacken) die empfohlenen Werte, kann dies die Entwicklungsrate deutlich verringern (vgl. Abb. 104 auf Seite 102). Wir empfehlen für den Softbake von Positivlacken als ungefähren Startwert für ggfalls. weitere Optimierungen eine Temperatur von 100°C für eine Dauer von einer Minute je µm Lackschichtdicke. Bei Negativlacken (AZ® 15 nXT, AZ® 125 nXT) oder speziellen Dicklacken (AZ® 40 XT) weichen die optimalen Softbake-Parameter von dieser Regel ab, Details dazu in den jeweiligen Datenblättern.

Lackschichtdicke größer als erwartet?

i) Geometrie des Spincoaters

Änderungen der Strömungsverhältnisse der Luft im Spincoater (andere Substratformen und –größen, Änderungen im Flow oder der Absaugung, Abdeckung des Substrattellers) können über eine geänderte Verdunstungsrate des Lösemittels der Lackschicht deren erzielte Schichtdicke beeinflussen.

ii) Umgebungsbedingungen beim Aufschleudern

Die Verdunstungsrate des Lösemittels einer aufgeschleuderten Lackschicht und damit deren erzielte Dicke hängt neben der Temperatur und Luftfeuchtigkeit von der Lösemittelkonzentration der Atmosphäre in der

Lackschleuder ab. Diese wiederum hängt davon ab, wann und wie viele Substrate seit der letzten Reinigung der Lackschleuder bereits belackt wurden. Aus diesem Grund kann es hinsichtlich konstanter Lackschichtdicken sinnvoll sein, vor einer Belackungsreihe einige Dummy-Wafer zu belacken.

iii) Verringerter Lösemittelgehalt des Lacks

Die Viskosität von Lack und damit dessen erzielte Schichtdicke hängt neben dessen Temperatur auch stark vom Lösemittelanteil ab, welcher im Laufe der Zeit durch häufiges Öffnen der Gebinde abnehmen kann.

Bei der Tauch- und Sprühbelackung kommen meist auch nieder-siedende Lösemittel wie Aceton oder MEK im Lack zum Einsatz, welche wesentlich rascher verdunsten als die sonst verwendeten hoch-siedenden Lösemittel. Entsprechend rascher kann bei diesen Belackungstechniken die erzielte Lackschichtdicke mit der Standzeit des Lacks zunehmen.

iv) Überlagerter Lack?

Manche Fotolacke zeigen je nach Lagertemperatur der Gebinde über Monate oder Jahre hinweg einen langsamen Anstieg in ihrer Viskosität.

Geänderte Substratreflektivität?

i) Optisch dünne Lacke

Gerade bei dünnen Fotolackschichten hängt die vom Lack absorbierte Lichtdosis und damit die für eine zügige Entwicklung notwendige Belichtungsdauer von dem Reflexions- und Streuverhalten des Substrats ab. Während Metalle wie Cr. Ag oder Pt kurzwelliges Licht sehr stark reflektieren, werden die für die Belichtung von Fotolack geeigneten Wellenlängen von z. B. ITO stark absorbiert, und von Quarz und Gläsern zum großen Teil transmittiert.

Bei Negativ- oder Umkehrlacken im Umkehrmodus?

i) Zu heißer Post Exposure Bake?

Ein zu heißer/langer Umkehrbackschritt bzw. Post Exposure Bake (auch ein deutlich zu heißer Softbake) führt zu einer thermischen Quervernetzung des Harzes (vgl. Abb. 100 auf Seite 97) auch der unbelichteten Lackbereiche, welche deswegen langsamer entwickeln.

ii) Versehentliche Belichtung

Gelangt Licht auch an die nominell „dunklen Stellen“ der Lackschicht, findet auch dort eine teilweise Umkehrreaktion bzw. Quervernetzung statt was die Entwicklungsrate verringert. Mögliche Gründe für eine unfreiwillige Belichtung sind unzureichende Gelblichtbedingungen (Abschnitt 7.3 auf Seite 31), Lichtbeugung durch einen Abstand zwischen Fotomaske und Lackoberfläche (Abschnitt 16.8 auf Seite 81), Lichtstreuung in der Lackschicht bei einer zu hohen Lichtdosis (Abschnitt 16.5 auf Seite 76), eine diffuse Reflexion bei rauen Substraten oder eine laterale Lichtführung durch Reflexion an texturierten Substraten oder innerhalb transparenter Substrate.

iii) Prozessführung kritischer Negativlacke

Für manche Negativlacke wie den AZ® 15 nXT ist die Dauer zwischen Belichtung und Post Exposure Bake, und die zwischen Post Exposure Bake und Entwicklung besonders kritisch, da hierbei die bei der Belichtung induzierten Reaktionen weiter laufen und so auch nicht-belichtete Lackbereiche quervernetzen können. Aus diesem Grund sollten bei solchen Lacken diese Zeitdauern konstant und möglich kurz (nicht länger als wenige Minuten) gewählt werden.

Bei chemisch verstärkten Lacken?

i) Fehlender obligatorischer Post Exposure Bake

Der chemisch verstärkte AZ® 40 XT benötigt zum Abschluss der Fotoreaktion zwingend einen Backschritt nach dem Belichten um entwickelbar zu werden.

ENTWICKLUNG: ZU HOHER DUNKELABTRAG

Entwickler korrekt verdünnt?

Mit zunehmender Entwicklerkonzentration steigt der Dunkelabtrag rascher als die Entwicklungsrate (Abb. 96 auf Seite 92). AZ® 400K und AZ® 351B werden üblicherweise 1 : 4 mit Wasser verdünnt angewandt. AZ® Developer kann konzentriert bis 1 : 1 verdünnt eingesetzt werden. Die Entwickler AZ® 326 MIF, 726 MIF und 826 MIF kommen in der Regel unverdünnt zum Einsatz. Beim AZ® 303 liegen typische Verdünnungsverhältnisse zwischen 1 : 4 (für den AZ® 111 XFS) und 1 : 5 ... 1 : 8 (übrige Lacke). Für die Dicklackprozessierung oder eine Erhöhung des Durchsatzes kann die Entwicklerkonzentration auf Kosten der Selektivität einige 10 % über diesen Werten liegen.

Kompatibler Entwickler?

Einige Entwickler wie AZ®Developer oder AZ® 826 MIF weisen vergleichsweise hohe Dunkelabtragsraten auf. Wenn die zu entwickelnden Fotolacke diese Entwickler nicht erfordern, sollten selektivere Entwickler verwendet werden (s. Angaben in den Abschnitten 53.3 - 53.6 ab Seite 181).

Optimaler Softbake?

i) Zu kurz oder zu kühl?

Ein zu kurzer/kühler Softbake erhöht durch den damit verbundenen hohen Restlösemittelanteil der Fotolackschicht den Dunkelabtrag. Als „Daumenregel“ für die meisten Standardlacke empfehlen wir eine Softbaketemperatur von 100°C für eine Minute je µm Lackschichtdicke (Abschnitt 13.5 auf Seite 63). Bei Negativlacken (AZ® 15 nXT, AZ® 125 nXT) oder speziellen Dicklacken (AZ® 40 XT) weichen die optimalen Softbake-Parameter von dieser Regel ab, Details dazu in den jeweiligen Datenblättern.

Bei der Verwendung von Öfen sollte die Dauer dazu addiert werden, welche die Substrate zum Aufheizen auf Solltemperatur benötigen. Auf Hotplates können massive oder schlecht Wärme leitende Substrate, sowie nicht planar anliegende (verspannte oder gewölbte) Substrate die effektive Temperatur in der Lackschicht verringern, was über eine Verlängerung des Softbake oder eine Erhöhung der Temperatur kompensiert werden kann (Abschnitt 13.6 auf Seite 64).

ii) Zu heiß oder zu lange?

Bei einem zu ausgedehnten/heißen Softbake zerfällt ein Teil des Fotoinitiators, welcher im unbelichteten Zustand als Inhibitor wirkt und als solcher die Abtragsrate im Entwickler verringert (Abschnitt 13.5 auf Seite 63). Als Folge steigt der Dunkelabtrag, der Kontrast des Lacks nimmt ab.

Zersetzung des Fotoinitiators durch zu lange oder falsche Lagerung?

Durch eine zu lange oder bei zu hohen Temperaturen erfolgte Lagerung von Fotolack zerfällt bereits vor dessen Prozessierung ein zunehmender Teil des Fotoinitiators, welcher im unbelichteten Zustand als Inhibitor wirkt und als solcher die Abtragsrate im Entwickler verringert (Abschnitt 7.5 auf Seite 34).

Bei Umkehr- oder Negativlacken?

i) Parameter für den Umkehrbackschritt

Bei Umkehrlacken hat der Umkehrbackschritt nach der ersten Belichtung die Aufgabe, die belichteten Bereiche im Entwickler unlöslich zu machen. Fällt der Umkehrbackschritt zu kühl oder zu kurz aus, ist die Abtragsrate dieser Lackbereiche im Entwickler deutlich erhöht. Die empfohlenen Umkehrbackparameter hängen vom jeweils verwendeten Umkehrlack und den Anforderungen an den Prozess ab (Abschnitt 20.3 auf Seite 102).

ii) Parameter für den Post Exposure Bake bei Negativlacken

Bei Negativlacken quervernetzt der Post Exposure Bake (PEB) die belichteten Lackbereiche und macht diese so unlöslich im Entwickler. Die empfohlenen PEB-Parameter hängen vom jeweils verwendeten Negativlack ab (Abschnitt 21.2 auf Seite 105), für die AZ® nLOF 2000 Lacke empfehlen wir einen Hotplate-Prozess bei

110 - 120°C für 1-2 Minuten.

Versehentliche Belichtung „dunkler“ Bereiche bei Positivlacken?

i) Streuung in der Lackschicht

Bei zu hohen Lichtdosen (Abschnitt 16.5 auf Seite 76) kann Lichtstreuung (Rayleigh-Streuung) innerhalb der Fotolackschicht auch nominell dunkle Bereiche belichten, welche dann im Entwickler mit abgetragen werden.

ii) Proximity Gap beim Belichten

Ein Abstand zwischen Maske und Lackoberfläche (beabsichtigt oder unbeabsichtigt durch Partikel oder Blasen in der Lackschicht oder einen Randwall) führt zu einer Belichtung benachbarter Lackbereiche durch Beugung (Abschnitt 16.8 auf Seite 81) und Mehrfachreflexionen zwischen Maske und Lackoberfläche.

iii) Texturierte Substrate

Texturierte oder raue Substrate streuen Licht auch lateral unter die von der Fotomaske abgeschatteten Bereiche der Lackschicht. Bei transparenten Substraten kann Licht lateral im Substrat geführt werden und so den Lack ebenfalls an nominell dunklen Stellen belichten. In diesem Fall kann es sinnvoll sein, die Belichtungsdosis nicht höher als notwendig zu wählen (Abschnitt 16.5 auf Seite 76). Zusätzlich kann ein Bottom-Layer Anti-Reflective Coating wie der AZ® Barli Abhilfe schaffen (Abschnitt 15.2 auf Seite 71).

iv) Keine ausreichenden Gelblichtbedingungen

Die meisten Positivlacke sind auch im kurzwelligen sichtbaren Bereich des Spektrums empfindlich. Daher können Leuchtstoffröhren, Glühbirnen, sowie direktes oder indirektes Tageslicht Lackschichten belichten. Wir empfehlen dringend, alle Lichtquellen und Fenster z. B. mit geeigneter Gelbfolie zu filtern um zu gewährleisten, dass keine Wellenlängen < ca. 520 nm transmittiert werden (Abschnitt 7.3 auf Seite 31).

Nachentwicklung?

Beim Entwickeln dringt der alkalische Entwickler auch in die nicht zu entwickelnde Lackschicht ein. Wird nach dem Entwickeln nicht ausreichend gespült, konzentrieren sich beim anschließenden Trocknen diese Entwickler-Rückstände in der Lackschicht auf und bilden mit dem Wasser eines nachfolgenden Entwicklungsschritts eine starke Base, welche eine Schicht des Lacks abtragen kann. Kann auf eine Nachentwicklung nicht verzichtet werden, sollte nach dem Entwickeln besonders gründlich mit Wasser gespült werden.

SCHLECHTE LACKHAFTUNG

Optimale Substratvorbehandlung?

i) Saubere Substrate

Bei sauberen Substraten genügt ein Ausheizen bei 120°C bis 140°C für einige Minuten zur Desorption von auf der Oberfläche angelagerten Wassermolekülen. Ab 150°C brechen die auf oxidierten Oberflächen stets präsenten OH-Bindungen auf, wobei der hydrophobe Charakter und damit die Lackbenetzung und -haftung weiter zunimmt (Abschnitt 8.1 auf Seite 37).

ii) Organische Verunreinigungen

Bei mit Partikeln oder organischen Verunreinigungen kontaminierten Substraten empfiehlt sich zur Verbesserung der Lackbenetzung und -haftung eine zweistufige Substratreinigung mit 1. Aceton (entfernt organische Verunreinigungen) und 2. Isopropanol (entfernt verunreinigtes Aceton, bevor sich daraus Schlieren bilden können), s. Abschnitt 8.1 auf Seite 37.

iii) Falsche HMDS-Anwendung

HMDS sollte im Vakuum aus der Gasphase auf beheizte Substrate aufgebracht werden. Das Auftragen in flüssiger Form verschlechtert in vielen Fällen die Lackhaftung deutlich unter die Lackhaftung unbehandelter Substraten. Aus diesem Grund darf HMDS auch auf keinen Fall in Lackschleudern eingesetzt werden, in der

parallel Belackungen mit Fotolack durchgeführt werden (Abschnitt 8.2 auf Seite 38).

iv) Vorangegangenes Ätzen mit HF-haltigen Medien

Nach erfolgtem SiO_2-Ätzen mit HF (z. B. „HF-Dip“) hängt die Lackhaftung stark davon ab, ob das Oxid vollständig entfernt wurde: Ist dies der Fall, zeigt die Wasserstoff-passivierte Si-Oberfläche für einige Zeit eine sehr gute Lackhaftung. Bei einem unvollständigen Oxid-Ätzen kann eine stark hydrophile Oberfläche mit sehr schlechter Lackbenetzung und -haftung zurückbleiben, welche über fortgeführtes, vollständiges Oxid-Ätzen oder Backen bei hohen Temperaturen (ca. 700°C) wiederhergestellt werden kann (Abschnitt 8.3 auf Seite 39).

Beim Ätzen mit HF-haltigen Ätzlösungen?

Flusssäure diffundiert relativ rasch durch Fotolackschichten. Hierbei quillt zum einen die Lackschicht auf, zum anderen beginnt auch das unter der Lackschicht eingeschlossene Substrat zu ätzen. Als Folge schwimmt die Lackschicht während des Ätzvorgangs oder beim anschließenden Spülen großflächig auf. Neben einer dickeren Lackschicht hilft auch die Verwendung gepufferter Flusssäure (BOE) anstelle ungepufferter HF (Abschnitt 24.7 auf Seite 117).

Auf Edelmetallen?

Edelmetalle wie Gold oder Platin weisen generell eine sehr schlechte Lackhaftung auf, die auch über organische Haftvermittler wie HMDS kaum verbessert werden kann (Abschnitt 8.3 auf Seite 39). Falls anwendbar, dient eine wenige nm dicke Schicht aus z. B. Titan oder Chrom als metallischer Haftvermittler, welcher nach der Entwicklung des Fotolacks an den frei entwickelten Stellen, bzw. nach der gesamten Prozessierung großflächig wieder abgeätzt werden kann.

Optimaler Softbake?

i) Zu kurz oder zu kühl?

ii) u lange oder zu heiß?

Wird der Softbake zu lange/heiß angewandt, versprödet die Lackschicht und verschlechtert v. a. bei zu rascher Abkühlung nach dem Softbake über mechanische Spannungen die Lackhaftung. Langsame Abkühlrampen können eine Abhilfe darstellen.

Positivlacke auf transparenten Substraten?

Bei der Belichtung mit zu hohen Dosen kann Licht in transparenten Substraten lateral über größere Strecken geführt werden und hierbei die Fotolackschicht in Substratnähe belichten. Dadurch heben sich v. a. kleine/schmale Strukturen im Entwickler ab. Eine angepasste, tendenziell geringe Lichtdosis kann diesen Effekt minimieren (Abschnitt 16.5 auf Seite 76).

Umkehr- oder Negativlacke?

Ist über eine geringe Belichtungsdosis (Abschnitte 20.2 auf Seite 101 und 21.1 auf Seite 105) und/oder einen zu kurzen/kühlen Umkehrbackschritt (Abschnitt 20.2 auf Seite 101) bzw. Post Exposure Bake (Abschnitt 21.1 auf Seite 105) nur die Lackoberseite inert bzw. quervernetzt, können substratnahe Lackbereiche vom Entwickler lateral so stark abgetragen werden, dass kleine/schmale Lackstrukturen im Entwickler vom Substrat abheben.

Beidseitig unterschiedlich metallisierte/dotierte Substratmaterialien?

Sind Vorder- und Rückseite eines elektrisch leitenden Substrates mit verschiedenen Metallen bzw. unterschiedlichen Dotierungen versehen, kann sich in wässrigen Lösungen (Entwickler, Ätzmedium ...) aus beiden Seiten ein galvanisches Element bilden (24.7 auf Seite 117). Eine mögliche Folge davon ist Wasserstoff-Bildung auf einer Seite, welche die darüber liegende Lackschicht abzuheben versucht. Eine geschlossene Schutzlackschicht auf der jeweils anderen Substratseite kann diesen Effekt verhindern.

ZU GERINGE LATERALE AUFLÖSUNG DES FOTOLACKS

Geeigneter Fotolack?

Positivlacke wie der AZ® 1505 oder AZ® 1512HS erlauben Strukturgrößen unter 1 µm, der AZ® 701 MiR und der AZ® ECI 3007 auch unter 0.5 µm. Unter den Negativlacken eignet sich der AZ® nLOF 2020 Serie für Auflösungen im sub-µm Bereich.

Hohe Aspektverhältnisse bei dicken und sehr dicken Lackschichten sind mit den Positivlacken AZ® 9260 und 40 XT, sowie den Negativlacke AZ® 15 nXT und AZ® 125 nXT realisierbar.

Gap zwischen Fotomaske und Lackoberseite?

i) Beugungseffekte

Ein durch Partikel, Luftbläschen, Randwall oder verbogene bzw. wellige Substrate verursachter Abstand zwischen Maskenunterseite und Lackoberfläche verringert über Beugung die Erzielung der mit dem verwendeten Lack prinzipiell möglichen lateralen Auflösung (Abschnitt 16.8 auf Seite 81).

Geeignete Softbake-Parameter?

i) Zu heiß oder zu lange?

Bei einem zu heißen oder/und langen Softbake zersetzt sich ein nicht vernachlässigbarer Anteil des Fotoinitiators von Positiv- und Umkehrlacken, welcher im unbelichteten Zustand als Inhibitor die Abtragsrate im Entwickler verringert. Übersteigen Dauer und Temperatur des Softbake die empfohlenen Werte, kann dies bei gleichzeitiger Verringerung der Entwicklungsrate die Dunkelabtragsrate erhöhen, was die Erzielung sehr kleiner Lackstrukturen erschwert.

Wir empfehlen eine Softbaketemperatur von 100°C für eine Minute je µm Lackschichtdicke (Abschnitt 13.5 auf Seite 63). Bei Negativlacken (AZ® 15 nXT, AZ® 125 nXT) oder speziellen Dicklacken (AZ® 40 XT) weichen die optimalen Softbake-Parameter von dieser Regel ab, Details dazu in den jeweiligen Datenblättern.

Bei der Verwendung von Öfen sollte die Dauer dazu addiert werden, welche die Substrate zum Aufheizen auf Solltemperatur benötigen. Auf Hotplates können massive oder schlecht Wärme leitende Substrate, sowie nicht planar anliegende (verspannte oder gewölbte) Substrate die effektive Temperatur in der Lackschicht verringern, was über eine Verlängerung des Softbake oder eine Erhöhung der Temperatur kompensiert werden kann (Abschnitt 13.6 auf Seite 64).

ii) Zu kurz oder zu kühl?

Bei einem zu kurzen oder kühlen Softbake (Abschnitt 13.5 auf Seite 63) verbleibt zu viel Restlösemittel in der Lackschicht, wodurch der Dunkelabtrag verhältnismäßig groß wird. Dadurch lassen sich sehr kleine Strukturen schwerer erzielen..

Kompatibler und optimal angesetzter Entwickler?

i) Zum Lack passender Entwickler?

Einige Entwickler wie der AZ® Developer oder AZ® 826 MIF besitzen vergleichsweise hohe Dunkelabtragsraten und sind daher für sehr kleine Lackstrukturen oder die Anforderung sehr steiler Lackkanten nicht empfehlenswert.

ii) Entwickler ausreichend verdünnt?

→ Abschnitt 40.1 auf Seite 168

Optimale Belichtungsdosis?

i) Bei Positivlacken

Im Falle von Positivlacken steigt bei einer zu geringen Belichtungsdosis (Abschnitt 16.5 auf Seite 76) entweder die zur Durchentwicklung notwendige Dauer, oder der Entwickler muss höher konzentriert angesetzt werden. In beiden Fällen ist der Abtrag unbelichteten Fotolacks vergleichsweise groß, womit die erzielbare

Auflösung abnimmt.

ii) Bei Negativ- oder Umkehrlacken

Im Falle von Negativ- oder Umkehrlacken steigt bei einer zu geringen Belichtungsdosis (Abschnitte 20.2 auf Seite 101 und 21.1 auf Seite 105) der Abtrag der belichteten Fotolackbereiche, was die erzielbare Auflösung verringert.

iii) Stark überbelichtet?

Bei zu hohen Lichtdosen können auch nominell dunkle Bereiche innerhalb der Fotolackschicht belichtet werden, welche dann im Falle von Positivlacken im Entwickler mit abgetragen werden oder im Falle von Negativ- oder Umkehrlacken die entwickelbaren Lackbereiche verkleinert. Beides setzt die erzielbare Auflösung herab und ist im Detail mit möglichen Ursachen in Abschnitt 40.6 auf Seite 169 erläutert.

BLÄSCHEN ODER PARTIKEL IN DER LACKSCHICHT NACH DEM BELACKEN

Bewegte Lackflaschen?

Beim Bewegen (Tragen, Schwenken) von Lackflaschen können Luftbläschen im Lack eingeschlossen werden. Um die Bläschen vor dem Dispensieren des Lacks an dessen Oberfläche steigen zu lassen, sollte die Lackflasche einige Zeit davor ruhen. Die notwendige Wartezeit hängt stark von der Viskosität des Lacks ab, eine Stunde sollte auf jeden Fall Besserung bringen.

Über längere Zeit verschlossene Fotolackflaschen?

DNQ-basierte Positiv- und Umkehrlacke setzen durch den allmählichen Zerfall des Fotoinitiators im Laufe der Zeit Stickstoff frei, welcher sich zunächst im Fotolack löst und durch den plötzlichen Druckabfall beim Öffnen des Gebindes Blasen bilden kann. Um diese vor dem Dispensieren des Lacks an dessen Oberfläche steigen zu lassen, sollte die Lackflasche einige Zeit davor mit aufgelegtem Deckel (um Druckausgleich zu ermöglichen ohne Partikel einzutragen) ruhen. Die notwendige Wartezeit hängt stark von der Viskosität des Lacks ab, eine Stunde sollte auf jeden Fall Besserung bringen.

Manuelles Dispensieren?

Mittels Pipetten oder Spritzen den Lack manuell aufzubringen, führt oft zu einzelnen Luftbläschen. Es kann helfen, den Dispensier-Behälter von dem Dispensieren einige Zeit senkrecht zu lagern, um eingeschlossene Luftbläschen an die Oberfläche steigen zu lassen.

Sprühbelackung?

Bei einem zu hohen Anteil eines nieder siedenden Lösemittels trocknen die Lacktröpfchen bereits im Sprühnebel zu Kügelchen, welche sich auch auf dem Substrat absetzen (11.3 auf Seite 54).

Überlagerter Fotolack?

Über das Haltbarkeitsdatum hinaus oder falsch (zu warm) gelagerter Fotolack neigt zu Partikelbildung. Hiervon sind v. a. niederviskose Dünnlacke mit hohem Fotoinitiator-Gehalt betroffen (7.5 auf Seite 34).

Verdünnter Fotolack?

Eine Verdünnung von Fotolacken sollte nur mit geeigneten Lösemitteln (z. B. PGMEA oder MEK) und in begrenztem Verdünnungsverhältnis erfolgen, sonst neigen Fotolacke zu rascher Partikelbildung. Bitte kontaktieren Sie uns für Angaben geeigneter Verdünnungen (7.4 auf Seite 33).

Klümpchen oder „Beulen“ im Lackfilm nach dem Aufschleudern?

i) Klümpchen?

Ein oder mehrere mm-große, unregelmäßige Lackstrukturen auf der belackten Substratoberfläche haben

ihren Ursprung meist in der an der Dispenseröffnung angetrockneten Lackschicht. Die dort vor allem bei längeren Pausen oder starker Absaugung durch die Verdunstung des Lösemittels gebildete Lackhaut gelangt beim Dispensieren ganz oder in Stücken auf die Lackschicht. Um die Bildung der Lackhaut zu unterbinden kann zwischen den Belackungsschritten die Zeit verkürzt, die Absaugung verringert bzw. unterbrochen, oder kurz vor dem Dispensieren eine kleine Lackmenge direkt in den Schleudertopf abgelassen werden.

ii) Zentrale Überhöhung?

Eine zentrale, ca. cm-große Überhöhung der Lackschicht hat ihren Grund meist in einer zu langen Wartezeit zwischen dem Dispensieren des Lacks und dem Schleuderstart. Durch die Verdunstung des Lösemittels trocknen dabei v. a. hoch-viskose Lacke soweit, dass sie beim Aufschleudern nicht mehr homogen ausdünnen können.

BLÄSCHEN IN DER LACKSCHICHT NACH DEM BELICHTEN

Ausreichender Softbake?

Ein zu kurzer/kühler Softbake verschlechtert über einen hohen Restlösemittelanteil der Fotolackschicht die Lackhaftung. Bei dicken Fotolackschichten bilden sich beim Belichten meist N_2-Bläschen v. a. in Substratnähe. Wir empfehlen eine Softbaketemperatur von 100°C für ca. 1 Minute je µm Lackschichtdicke (Abschnitt 13.5 auf Seite 63). Bei Negativlacken (AZ® 15 nXT, AZ® 125 nXT) oder speziellen Dicklacken (AZ® 40 XT) weichen die optimalen Softbake-Parameter von dieser Regel ab, Details dazu in den jeweiligen Datenblättern.

Bei massiven oder schlecht Wärme leitenden Substraten bzw. Ofenprozessen sollten einige Minuten dazu gegeben werden (Abschnitt 13.6 auf Seite 64).

Ausreichende Lackhaftung?

Der beim Belichten von Positiv- oder Umkehrlacken gebildete Stickstoff kann an Stellen schlechter Lackhaftung lokal Bläschen bilden. Empfehlungen zur optimalen Substratvorbehandlung gibt Kapitel 41.

Zu hohe Belichtungsintensität?

Der beim Belichten von Positiv- oder Umkehrlacken gebildete Stickstoff sollte möglichst zeitgleich aus der Lackschicht diffundieren können. Ist die Belichtungsintensität zu groß, bilden sich bei zunehmender N_2-Konzentration in der Lackschicht Bläschen oder Spannungsrisse. Eine Verringerung der Belichtungsintensität bzw. die Aufteilung der Belichtung in mehrere Schritte mit Pausen dazwischen (z. B. beim Laserschreiben) kann Abhilfe schaffen.

Zu dicke Fotolackschicht?

Je dicker die Fotolackschicht ist, desto schwieriger wird es, den beim Belichteten erzeugten Stickstoff an die Oberfläche diffundieren zu lassen bevor er Bläschen bilden kann. Deshalb empfehlen sich für dicke Lackschichten geeignete Dicklacke wie der AZ® 4562 oder AZ® 9260, deren N_2-Generationsrate durch den geringeren Fotoinitiator-Anteil vergleichsweise gering ist, oder den chemisch verstärkten Ultradicklack AZ® 40 XT oder Negativlacke welche beim Belichten keinen Stickstoff freisetzen.

BLÄSCHEN IN DER LACKSCHICHT NACH BACK- ODER PROZESSSCHRITTEN

Nach Backschritten belichteten Fotolacks?

Der beim Belichten von Positiv- oder Umkehrlacken gebildete Stickstoff kann bei höheren Temperaturen (während z. B. Post Exposure Bake, Umkehrbackschritt, oder nachfolgenden Galvanikprozessen) in dem zusätzlich erweichenden Fotolack Bläschen bilden. Abhilfe schafft eine längere Wartezeit zwischen Belichten und dem nachfolgenden Back- oder Prozessschritt, um den gebildeten Stickstoff aus der Lackschicht ausdiffundieren zu lassen (Abschnitt 16.14 auf Seite 87).

Nach einer Beschichtung (Sputtern, Aufdampfen) oder Trockenätzen?

i) Restlösemittel?

Die hierbei auftretende Temperaturerhöhung lässt in den Lackstrukturen Restlösemittel oder beim Entwickeln aufgenommenes Wasser verdunsten. Unterstützt durch den geringen Hintergrunddruck wie auch den unter Wärme erweichenden Fotolack können hierdurch Bläschen im Lack entstehen. Ein längerer/heißerer Softbake (Abschnitt 13.6 auf Seite 64) verringert den Restlösemittelanteil, ein Backschritt nach dem Entwickeln ausreichend weit unterhalb der Erweichungstemperatur der verwendeten Fotolacks (6.5 auf Seite 27) zudem den Wassergehalt.

ii) Stickstoff?

Eine weitere mögliche Quelle für die Gasbildung ist Stickstoff, welcher als Produkt der Fotoreaktion in bislang unbelichteten Fotolackstrukturen durch die beim Sputtern, Trockenätzen (Abschnitt 27.6 auf Seite 129) oder Aufdampfen präsente UV-Strahlung entsteht. Um ein Belichten der Lackstrukturen während des Prozesses zu verhindern, schafft eine Flutbelichtung vor dem jeweiligen Prozess Abhilfe. Deren Dosis sollte - ohne Fotomaske - ein Mehrfaches der Struktur-definierenden Belichtung betragen, gefolgt von einer ausreichenden Wartezeit zum Ausgasen des hierbei gebildeten N_2. Übliche Negativlacke sowie der chemisch verstärkte Ultradicklack AZ® 40 XT setzen beim Belichten keinen Stickstoff frei und benötigen deshalb diese Schritte nicht.

NASSCHEMISCHES ÄTZEN: HÄUFIGE PROBLEMSTELLUNGEN

Haftungsprobleme?

Mögliche Ursachen und Hilfen zu schlechter Lackhaftung sind in Kapitel 41 auf Seite 169 aufgeführt.

Unterätzen?

Isotrope Ätzen unterätzen generell den Lack in einem der Ätztiefe vergleichbaren Ausmaß. Ein stärkeres Unterätzen könnte ein Hinweis auf schlechte Lackhaftung (Kapitel 41 auf Seite 169) sein, welche auch über einen Hardbake (Abschnitt 19.1 auf Seite 97) nach dem Entwickeln bei ca. 140°C verbessert werden kann.

Unregelmäßiger Ätzstart?

i) Lackrückstände?

Auch wenige nm dünne Lackrückstände in den nominell frei entwickelten Bereichen können eine Barriere für einen zügigen Ätzstart darstellen. Mögliche Gründe hierfür können sein: Inkompatibler Entwickler (Abschnitt 39.3), falsche HMDS-Vorbehandlung (Abschnitt 8.2 auf Seite 38) oder unzureichendes Spülen nach dem Entwickeln.

ii) Lackschicht auf Aluminium?

Bei Aluminium greifen alkalische Entwickler die Aluminiumoxidschicht verstärkt dort an, wo der Lack am ehesten durchentwickelt ist (z. B. an dünneren Lackstellen, an den Rändern entwickelter Strukturen oder an entwickelten Strukturen zunehmender Größe, s. Abb. 117 auf Seite 119). Je nach Grad der Überentwicklung und der Wartezeit zwischen Entwicklung und Al-Ätzen kann dies dann zu einem räumlich inhomogenen Al-Ätzstart und damit zu unterschiedlich tief geätztem Al führen.

Unregelmäßige Ätztiefen beim Al-Ätzen?

Die beim Al-Ätzen gebildeten, am Substrat fest sitzenden Bläschen verhindern lokal den Nachschub von Al-Ätze. Diese Bläschen können entweder via Ultraschall oder über abwechselndes Ätzen und kurzes Eintauchen in DI-Wasser (Intervall-Ätzen) vom Substrat gelöst werden (Abschnitt 25.1 auf Seite 119).

Lackschädigung mit HNO_3-haltigen Ätzen?

Bei stark oxidierenden Medien kann ein Hardbake nach dem Entwickeln bei ca. 140°C die chemische Beständigkeit des Lacks erhöhen (Abschnitt 19.1 auf Seite 97).

Keine Lackbeständigkeit in alkalischen Medien (KOH, TMAH ...)?

Zwar kann ein Hardbake bei 150°C oder darüber die alkalische Stabilität von Fotolacken erhöhen. Jedoch

sind selbst sehr heiß gebackene, quervernetzte Lackstrukturen als Lackmaske für anisotropes Si-Ätzen nicht ausreichend stabil. Für diesen Zweck empfiehlt sich der Einsatz von Hartmasken aus z. B. SiO_2 oder Siliciumnitrid.

TROCKENÄTZEN: HÄUFIGE PROBLEMSTELLUNGEN

Verfließen des Fotolacks?

Steigt die Temperatur beim Trockenätzen über der Erweichungstemperatur (typ. 100 - 130°C bei Positivlacken) des verwendeten Fotolacks, beginnt dieser zu verrunden und zu verfließen. Maßnahmen zur Abhilfe sind in Abschnitt 28.3 auf Seite 132 aufgelistet.

Aufschäumen des Fotolacks?

Ein noch unbelichteter Positivlack kann durch die beim Trockenätzen präsente UV-Strahlung belichtet werden und dabei Stickstoff freisetzen. Unterstützt durch das thermische Erweichen des Fotolacks können sich so Bläschen bilden bzw. der Fotolack aufschäumen. Maßnahmen zur Abhilfe sind in Abschnitt 28.3 auf Seite 132 aufgelistet.

Lack lässt sich nicht mehr strippen?

Hohe Temperaturen, Ionenbeschuss und UV-Hintergrundstrahlung während des Trockenätzens können den Fotolack so stark quervernetzen, dass er sich danach nasschemisch schwer oder gar nicht entfernen lässt. Das Kapitel 22 auf Seite 108, insbesondere 22.4 auf Seite 109 beschreibt mögliche Maßnahmen zur Abhilfe. Auf die Lackschicht redeponiertes Material kann ebenfalls das Entfernen des Fotolacks erschweren, in diesem Fall kann eine Unterstützung mit Ultraschall helfen.

GALVANIK: HÄUFIGE PROBLEMSTELLUNGEN

Unzureichende Lackstabilität im Elektrolyten

i) Saure Bäder?

Im sauren Medien mit Ausnahme stark oxidierender Medien wie Salpetersäure sind alle AZ® und TI Lacke ausreichend stabil für die Galvanik. Sollte es dennoch zu einem Angriff der Lackmasken kommen, könnten evtl. Zusätze organischer Lösemittel dafür verantwortlich sein.

ii) Alkalische Bäder?

Alkalische Bäder sind kritischer. Ab einem pH-Wert von ca. 10 (abhängig von der Temperatur des Bades und der Dauer der Galvanik) wird die Lackmaske zunehmend angegriffen. Quervernetzende Lacke wie der AZ® 15 nXT, der AZ® 125 nXT oder die AZ® nLOF 2000 Serie besitzen eine höhere Stabilität im Alkalischen als Positiv- oder Umkehrlacke.

Verunreinigung der Galvanik durch austretendes Restlösemittel?

i) Softbake nicht ausreichend?

Unter üblichen Softbakeparametern getrocknete Fotolackschichten können immer noch einen Restlösemittelanteil von einigen Prozent aufweisen. Gelangt das Lösemittel während der Galvanik in das Galvanik-Bad, kann hierdurch die Chemie der Abscheidung gestört werden. In diesem Fall ist ein intensiverer (längerer/heißerer) Softbake zu empfehlen.

ii) Dicke Lackschichten?

Bei dicken Lackschichten, bei welchen auch ein langer Softbake einen rel. hohen Restlösemittelanteil in Substratnähe zurücklässt, kann ein Backschritt nach dem Entwickeln hilfreich sein. Um die Lack flanken zu erhalten, sollte dieser wenigstens 10 °C unter der Erweichungstemperatur des verwendeten Fotolacks ausgeführt werden.

Unerwünschtes Lackprofil

i) Senkrechte Lackflanken gefordert?

→ Abschnitt 34.4 auf Seite 155

ii) Unterschnittene Lackprofile gefordert?

→ Abschnitt 34.4 auf Seite 155

iii) Positive Lackprofile gefordert?

Soll die aufwachsende Metallstruktur ein negatives Profil aufweisen (d. h. sich nach oben öffnen) muss sich das Lackprofil vom Substrat weg verjüngen. Dies kann entweder mit einem Proximity Gap der Maske beim Belichten oder einem Reflow der Lackstrukturen nach dem Entwickeln über der Erweichungstemperatur des verwendeten Fotolacks erzielt werden.

Die aufgewachsene Metallstruktur haftet nicht gut?

i) Lackrückstände durch die Entwicklung?

Wird der Fotolack mit einem nicht geeigneten Entwickler entwickelt oder nach dem Entwickeln nicht ausreichend gespült, können wenige nm dünne, nicht sichtbare Lackrückstände ein optimales Aufwachsen des abgeschiedenen Metalls verhindern. Welcher Fotolack welchen Entwickler benötigt, ist in Abschnitt 39.3 auf Seite 165 aufgeführt.

ii) Lackrückstände durch falsch angewandtes HMDS?

Falsch appliziertes (flüssig oder auf unbeheizte Wafer aufgebrachtes) HMDS kann zu einer Quervernetzung substratnaher Fotolackschichten führen, welche nicht vollständig entwickelt werden und so zwischen Saatschicht und Metall verbleiben (Abschnitt 8.2 auf Seite 38).

iii) Lackrückstände durch Quervernetzung durch das Substrat?

Quervernetzende Negativlacke auf bestimmten Metallen (oftmals Kupfer) quervernetzen unter bestimmten Prozessierungsbedingungen von Metallisierung und Lack in der Nähe zum Metall, was die dortige Entwicklung stoppt und nach dem Entwickeln dünne (meist wenige 10 oder 100 nm) Lack filme zurücklässt. Die Negativlacke AZ® 15 nXT und AZ® 125 nXT gelten als Cu-kompatibel.

iv) Unterwandern bzw. Unterwachsen der Lackmaske?

Durch das Aufquellen von Fotolack kann die Haftung zum Substrat während der galvanischen Abformung nachlassen. Tipps zur Optimierung der Lackhaftung gibt Kapitel 41. Die für die Galvanik optimierten Negativlacke AZ® 15 nXT und AZ® 125 nXT weisen eine auf den meisten Substratmaterialien verbesserte Lackhaftung auf. Auf Edelmetallen verbessert ein wenige nm dünner Titan-Film (alternativ Chrom oder Aluminium) die Lackhaftung deutlich. Ein solch dünner Metall film kann - falls erforderlich - nach dem Entwickeln auf den frei entwickelten Stellen in geeigneten Medien entfernt werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass lateral nicht zu stark unter den Lackfilm geätzt wird, d. h. der Ätzvorgang möglichst zeitgleich mit dem Entfernen der Haftschicht beendet wird.

LIFT-OFF FUNKTIONIERT NICHT (GUT GENUG)

Aufdampfen oder Sputtern?

Während beim mehr oder weniger isotropen Sputtern auch senkrechte oder unterschnittene Lackflanken mit beschichtet werden, führt das gerichtete Aufdampfen generell zu einem deutlich besseren Ergebnis beim Lift-off. Vor allem bei dicken (> einige 100 nm) aufgebrachten Schichten sollte - wo anwendbar - das Aufdampfen dem Sputtern vorgezogen werden (28.3 auf Seite 132).

Lackprofil: Geeigneter Fotolack?

Unterschnittene Lackkanten sind für ein gutes Ergebnis beim Lift-off besser als senkrechte oder gar positive Flanken. Deshalb sind Negativlacke wie die AZ® nLOF 2000 Serie oder Umkehrlacke wie z. B. AZ® 5214 E oder

TI 35ES Positivlacken vorzuziehen. Sollen dennoch Positivlacke eingesetzt werden, empfehlen sich solche mit der Option nahezu senkrechter Flanken wie die AZ® ECI 3000 Serie oder der AZ® 9260 Dicklack.

Erweichen beim Beschichten?

Steigt die Temperatur beim Beschichten über den Erweichungspunkt des verwendeten Fotolacks, verrunden die Lackflanken und werden dadurch ebenfalls beschichtet (Abschnitt 28.3 auf Seite 132).

Geeignetes Lift-off Medium?

i) (Un)geeignete Lösemittel

Beim Lift-off mit dem rasch verdunstenden Aceton setzen sich oft Flitter bereits gelifteten Materials auf dem Substrat ab und lassen sich nur sehr schwer wieder entfernen. Besser geeignet sind hoch-siedende Lösemittel wie DMSO, welche aufgrund des geringen Dampfdrucks zudem auf 80°C erhitzt werden kann. Eine zusätzliche Ultraschallbehandlung kann den Lift-off beschleunigen.

ii) Geeignete Spezial-Stripper?

Für thermisch quervernetzte Positivlacke oder Negativlacke wie der AZ® nLOF 2000 Serie oder dem AZ® 15 nXT oder AZ® 125 nXT empfehlen sich die Hochleistungs-Stripper TechniStrip P1316 für Positivlacke und AZ® 125 nXT bzw. TechniStrip NI555 für die AZ® nLOF 2000 Serie und den AZ® 15 nXT (Kapitel 22 auf Seite 108).

SUBSTRAT-ANGRIFF DURCH FOTOCHEMIKALIEN

Verfärbung/Angriff durch den Fotolack?

i) Eingefärbte Lacke?

Zusätzlich eingefärbte Lacke wie der PL 177 oder AZ® 520D können in seltenen Fällen v. a. poröse Substrate anfärben. Hier wäre der Einsatz ungefärbter Lacke zu prüfen.

ii) Lösemittel-stabile Substrate?

Die in Fotolacken eingesetzten Lösemittel sind meist sehr kräftige Lösemittel welche verschiedene Polymere angreifen. Ein rasches Schleudern unmittelbar nach dem Dispensieren sowie ein Softbake unmittelbar nach dem Belacken können etwas Abhilfe schaffen. Alternativ schützt ein dünner Metallfilm, welcher nach dem Entwickeln und nach dem Entfernen des Lacks abgeätzt werden kann das Polymer in Grenzen vor dem Lösemittel.

iii) Auswirkung der Fotoreaktion?

Viele Fotolacke bilden beim Belichten organische Säuren, welche entsprechend empfindliche Materialien angreifen können.

Angriff durch Entwickler?

i) Wässrig alkalische Alternativen?

Wässrig alkalische (auf KOH-, NaOH oder TMAH basierte) Entwickler greifen alkalisch empfindliche Substratmaterialien wie z. B. Al oder ITO an. Der *AZ® Developer* ist auf geringen Al-Angriff optimiert und eignet sich in angepasster Verdünnung für nahezu alle Fotolacke und Prozesse.

ii) Alternativen für Negativlacke

Quervernetzende Negativlacke wie die AZ® nLOF 2000 Serie oder der AZ® 15 nXT und 125 nXT können grundsätzlich auch mit einigen organischen Lösemitteln entwickelt werden, wozu wir PGMEA = AZ® EBR Solvent empfehlen. Hierbei ist ggfalls. durch angepasste Prozessparameter und einer Kontrolle des Entwicklungsvorgangs darauf zu achten, dass sich die lackschichten nicht im Lösemittel vom Substrat abheben.

Angriff durch Remover?

i) Alkalische Remover?

Der AZ® 100 Remover ist nur dann auf alkalisch empfindlichen Materialien unkritisch, wenn er absolut wasserfrei angewandt wird. Selbst geringe Verunreinigungen mit Wasser erhöhen den pH-Wert, wodurch z. B. Aluminium angegriffen wird.

ii) NMP?

NMP ist im konzentrierten Zustand pH-neutral. Mit zunehmender Verdünnung mit Wasser steigt der pH-Wert und erreicht in Nähe einer 1 : 1 Verdünnung ein Maximum von ca. 10.5.

FOTOLACK LÄSST SICH NICHT MEHR ENTFERNEN

Lösemittel als Remover?

Das gelegentlich benutzte Aceton ist kein optimaler Remover, da es zum einen wegen des geringen Flammpunkts nicht erhitzt werden darf, zum anderen aufgrund seines hohen Dampfdrucks rasch verdunstet und dadurch Lackrückstände verursachen kann. Innerhalb der organischen Lösemittel empfiehlt sich NMP (N-Methyl-2-pyrrolidon) oder das ungiftige DMSO (Dimethylsulfoxid), welche beide bis 80°C erhitzt auch stärker quervernetzten Fotolack entfernen können. Ebenfalls empfohlen sind die NMP-freien und pH-neutralen Hochleistungs-Stripper TechniStrip P1316, P1331 und NI555 (Abschnitt 22.4 auf Seite 109).

Alkalische Medien als Remover?

Als Alternative zu organischen Lösemitteln empfiehlt sich AZ® 100 Remover, der absolut wasserfrei eingesetzt auch weitgehend kompatibel zu Aluminium ist. Alternativ kann auch NaOH oder KOH in ausreichender Konzentration (> 3 % für gängige Positivlacke) als Remover für alkalisch ausreichend stabile Substratmaterialien eingesetzt werden, wobei eine Quervernetzung des Fotolacks höhere Konzentrationen und/oder höhere Temperaturen erfordert.

Hardbake bei sehr hohen Temperaturen?

Negativlacke quervernetzen bereits bei der Prozessierung, auf Phenolharz basierte (AZ®-)Positivlacke quervernetzen ab ca. 150°C. Für alle Lacke gilt, dass der Quervernetzungsgrad und damit die Unlöslichkeit in Lösemitteln oder alkalischen Removern mit zunehmender Temperatur steigt. Für stark quervernetzte Positivlacke empfiehlt sich der Hochleistungs-Stripper TechniStrip® P1316 oder – bei großen Lackschichtdicken oder Novolak-basierten Negativlacken – der TechniStrip® NI555 (Abschnitt 22.4 auf Seite 109).

Nach dem Beschichten (Sputtern, Aufdampfen, CVD)?

Die hierbei auftretende Temperaturerhöhung kann zusammen mit der (thermischen oder Rekombinations-)-UV-Strahlung Fotolack quervernetzen und damit seine Entfernbarkeit verschlechtern. Abhilfe in Form einer Temperaturverringerung beschreibt Abschnitt 28.3 auf Seite 132. Für stark quervernetzte Positivlacke empfiehlt sich der Hochleistungs-Stripper TechniStrip® P1316 oder – bei großen Lackschichtdicken oder Novolak-basierten Negativlacken – der TechniStrip® NI555 (Abschnitt 22.4 auf Seite 109).

Nach dem Trockenätzen?

Im Prinzip gilt hier das gleiche wie im vorherigen Abschnitt beschrieben. Zusätzlich besteht beim Trockenätzen die Gefahr einer Redeposition geätzten Materials auf der Lackoberfläche, welches in Removern u. U. unlöslich ist und, evtl. unterstützt von Ultraschall, in entsprechenden Medien geätzt werden müsste.

Quervernetzte Negativlacke?

Novolak-basierte Negativlacke wie die AZ® nLOF 2000 oder der AZ® 15 nXT lassen sich in hartnäckigen Fällen (z. B. starke Quervernetzung durch hohe Prozesstemperaturen) mit dem TechniStrip® NI555 auflösen, während sich für den Acryl-basierten AZ® 125 nXT sowie Epoxy-basierte Lacke, Polyimide und Trockenfilme der TechniStrip® P1316 empfiehlt (Abschnitt 22.4 auf Seite 109).

Unsere Fotolacke: Anwendungsbereiche und Kompatibilitäten

Anwendungsbereiche [1]		Lackserie	Fotolacke	Schichtdicke [2]	Empfohlene Entwickler [3]	Empfohlene Remover [4]
Positiv	Hohe Haftung für nasschemisches Ätzen, kein Fokus auf senkrechte Lackflanken	AZ® 1500	AZ® 1505 AZ® 1512 HS AZ® 1514 H AZ® 1518	≈ 0.5 µm ≈ 1.0 - 1.5 µm ≈ 1.2 - 2.0 µm ≈ 1.5 - 2.5 µm	AZ® 351B, AZ® 326 MIF, AZ® 726 MIF, AZ® Developer	AZ® 100 Remover TechniStrip® P1316 TechniStrip® P 1331
		AZ® 4500	AZ® 4533 AZ® 4562	≈ 3 - 5 µm ≈ 5 - 10 µm	AZ® 400K, AZ® 326 MIF, AZ® 726 MIF, AZ® 826 MIF	
		AZ® P4000	AZ® P4110 AZ® P4330 AZ® P4620 AZ® P4903	≈ 1 - 2 µm ≈ 3 - 5 µm ≈ 6 - 20 µm ≈ 10 - 30 µm	AZ® 400K, AZ® 326 MIF, AZ® 726 MIF, AZ® 826 MIF	
		AZ® PL 177	AZ® PL 177	≈ 3 - 8 µm	AZ® 351B, AZ® 400K, AZ® 326 MIF, AZ® 726 MIF, AZ® 826 MIF	
	Sprühbelackung	AZ® 4999		≈ 1 - 15 µm	AZ® 400K, AZ® 326 MIF, AZ® 726 MIF, AZ® 826 MIF	
	Tauchbelackung	MC Dip Coating Resist		≈ 2 - 15 µm	AZ® 351B, AZ® 400K, AZ® 326 MIF, AZ® 726 MIF, AZ® 826 MIF	
	Steile Flanken, hohe Auflösung und großes Aspektverhältnis für z. B. Trockenätzen und Galvanik	AZ® ECI 3000	AZ® ECI 3007 AZ® ECI 3012 AZ® ECI 3027	≈ 0.7 µm ≈ 1.0 - 1.5 µm ≈ 2 - 4 µm	AZ® 351B, AZ® 326 MIF, AZ® 726 MIF, AZ® Developer	
		AZ® 9200	AZ® 9245 AZ® 9260	≈ 3 - 6 µm ≈ 5 - 20 µm	AZ® 400K, AZ® 326 MIF, AZ® 726 MIF	
	Hoher Erweichungspunkt und hochauflösend für z. B. Trockenätzen	AZ® 701 MiR	AZ® 701 MiR (14 cPs) AZ® 701 MiR (29 cPs)	≈ 0.8 µm ≈ 2 - 3 µm	AZ® 351B, AZ® 326 MIF, AZ® 726 MIF, AZ® Developer	
Positiv (chem. verstärkt)	Steile Flanken, hohe Auflösung und großes Aspektverhältnis für z. B. Trockenätzen und Galvanik	AZ® XT	AZ® 12 XT-20PL-05 AZ® 12 XT-20PL-10 AZ® 12 XT-20PL-20 AZ® 40 XT	≈ 3 - 5 µm ≈ 6 - 10 µm ≈ 10 - 30 µm ≈ 15 - 50 µm	AZ® 400K, AZ® 326 MIF, AZ® 726 MIF	AZ® 100 Remover TechniStrip® P1316 TechniStrip® P1331
		AZ® IPS 6050		≈ 20 - 100 µm		
Image reversal	Hoher Erweichungspunkt und unterschnittene Lackprofile für Lift-off	AZ® 5200	AZ® 5209 AZ® 5214	≈ 1 µm ≈ 1 - 2 µm	AZ® 351B, AZ® 326 MIF, AZ® 726 MIF	TechniStrip® Micro D2 TechniStrip® P1316 TechniStrip® P1331
		TI	TI 35ESX TI xLift-X	≈ 3 - 4 µm ≈ 4 - 8 µm		
Negativ (quervernetzend)	Unterschnittene Lackprofile und dank Quervernetzung kein thermisches Erweichen für Lift-off	AZ® nLOF 2000	AZ® nLOF 2020 AZ® nLOF 2035 AZ® nLOF 2070	≈ 1.5 - 3 µm ≈ 3 - 5 µm ≈ 6 - 15 µm	AZ® 326 MIF, AZ® 726 MIF, AZ® 826 MIF	TechniStrip® NI555 TechniStrip® NF52 TechniStrip™ MLO 07
		AZ® nLOF 5500	AZ® nLOF 5510	≈ 0.7 - 1.5 µm		
	Hohe Haftung, steile Lackflanken und große Aspektverhältnisse für z. B. Trockenätzen und Galvanik	AZ® nXT	AZ® 15 nXT (115 cPs) AZ® 15 nXT (450 cPs)	≈ 2 - 3 µm ≈ 5 - 20 µm	AZ® 326 MIF, AZ® 726 MIF, AZ® 826 MIF	
			AZ® 125 nXT	≈ 20 - 100 µm	AZ® 326 MIF, AZ® 726 MIF, AZ® 826 MIF	TechniStrip® P1316 TechniStrip® P1331 TechniStrip® NF52 TechniStrip™ MLO 07

[1] Theoretisch können alle Lacke für nahezu alle Anwendungen eingesetzt werden. Mit dem Anwendungsbereich sind hier die besonderen Eignungen der jeweiligen Lacke gemeint.

[2] Mit Standardequipment unter Standardbedingungen erzielbare und prozessierbare Lackschichtdicke. Manche Lacke können für geringere Schichtdicken verdünnt werden, mit entsprechendem Mehraufwand sind auch dickere Lackschichten erziel- und prozessierbar.

[3] Metallionenfreie (MIF-) Entwickler sind deutlich teurer und dann sinnvoll, wenn metallionenfrei entwickelt werden muss .

Unsere Entwickler: Anwendungsbereiche und Kompatibilitäten

Anorganische Entwickler

(typischer Bedarf bei Standard-Prozessen: ca. 20 L Entwickler je L Fotolack)

AZ® Developer basiert auf Na-Phosphat und Na-Metasilikat, ist auf minimalen Aluminiumabtrag optimiert und wird 1 : 1 verdünnt in DI-Wasser für hohen Kontrast bis unverdünnt für hohe Entwicklungsraten eingesetzt. Der Dunkelabtrag ist verglichen mit anderen Entwicklern etwas höher.

AZ® 351B basiert auf gepufferter NaOH und wird üblicherweise 1 : 4 mit Wasser verdünnt angewandt, für Dicklacke auf Kosten des Kontrasts bis ca. 1 : 3

AZ® 400K basiert auf gepufferter KOH und wird üblicherweise 1 : 4 mit Wasser verdünnt angewandt, für Dicklacke auf Kosten des Kontrasts bis ca. 1 : 3

AZ® 303 speziell für den AZ® 111 XFS Fotolack basiert auf KOH / NaOH und wird üblicherweise 1 : 3 - 1 : 7 mit Wasser verdünnt angewandt, je nach Anforderung an Entwicklungsrate und Kontrast.

Metallionenfreie Entwickler (TMAH-basiert)

(typischer Bedarf bei Standard-Prozessen: ca. 5 - 10 L Entwicklerkonzentrat je L Fotolack)

AZ® 326 MIF ist eine 2.38 %ige wässrige TMAH- (TetraMethylAmmoniumHydroxid) Lösung.

AZ® 726 MIF ist 2.38 % TMAH in Wasser, mit zusätzlichen Netzmitteln zur raschen und homogenen Benetzung des Substrates z. B. für die Puddle-Entwicklung.

AZ® 826 MIF ist 2.38 % TMAH in Wasser, mit zusätzlichen Netzmitteln zur raschen und homogenen Benetzung des Substrates z. B. für die Puddle-Entwicklung und weiteren Additiven zur Entfernung schwer löslicher Lackbestandteile (Rückstände bei bestimmten Lackfamilien), allerdings auf Kosten eines etwas höheren Dunkelabtrags.

Unsere Remover: Anwendungsbereiche und Kompatibilitäten

AZ® 100 Remover ist ein Amin-Lösemittel Gemisch und Standard-Remover für AZ® und TI Fotolacke. Zur Verbesserung seiner Performance kann AZ® 100 Remover auf 60 - 80°C erhitzt werden. Da der AZ® 100 Remover mit Wasser stark alkalisch reagiert eignet er sich für diesbezüglich empfindliche Substratmaterialien wie z. B. Cu, Al oder ITO nur wenn eine Kontamination mit Wasser ausgeschlossen werden kann.

TechniStrip® P1316 ist ein Remover mit sehr starker Lösekraft für Novolak-basierte Lacke (u. a. alle AZ® Positivlacke), Epoxy-basierte Lacke, Polyimide und Trockenfilme. Bei typischen Anwendungstemperaturen um 75°C kann TechniStrip® P1316 auch z. B. durch Trockenätzen oder Ionenimplantation stärker quervernetzte Lacke rückstandsfrei auflösen. TechniStrip® P1316 kann auch im Sprühverfahren eingesetzt werden. Nicht kompatibel mit Au oder GaAs.

TechniStrip® P1331 ist im Falle alkalisch empfindlicher Materialien eine Alternative zum TechniStrip® P1316. Nicht kompatibel mit Au oder GaAs.

TechniStrip® NI555 ist ein Stripper mit sehr starker Lösekraft für Novolak-basierte Negativlacke wie dem AZ® 15 nXT und der AZ® nLOF 2000 Serie und sehr dicke Positivlacken wie dem AZ® 40 XT. TechniStrip® NI555 wurde dafür entwickelt, auch quervernetzte Lacke nicht nur abzulösen, sondern rückstandsfrei aufzulösen. Dadurch werden Verunreinigungen des Beckens und Filter durch Lackpartikel und -häutchen verhindert, wie sie bei Standard-Strippern auftreten können. Nicht kompatibel mit Au oder GaAs.

TechniClean™ CA25 ist ein Remover für post etch residue (PER) removal. Äußerst effizient beim selektiven Entfernen organo-metallischer Oxide von Al, Cu, Ti, TiN, W und Ni.

TechniStrip™ NF52 ist ein Sehr effizienter Remover für Negativlacke (Flüssiglacke als auch Trockenfilme). Durch seine Zusammensetzung und speziellen Additive kompatibel mit Metallen übicherweise eingesetzt für BEOL interconnects oder WLP bumping.

TechniStrip™ Micro D2 ist ein Vielseitig einsetzbarer Stripper für Lift-off Prozesse oder generell dem Auflösen von Positiv- und Negativlacken. Seine Zusammensetzung zielt auf eine verbesserte Kompatibilität zu vielen Metallen sowie III/V Halbleitern.

TechniStrip™ MLO 07 Hoch-effizienter Remover für Positiv- und Negativlacke eingesetzt in den Bereichen IR, III/V, MEMS, Photonic, TSV mask und solder bumping. Kompatibel zu Cu, Al, Sn/Ag, Alumina und einer Vielzahl organischer Substrate.

Unsere Wafer und ihre Spezifikationen

Silicium-, Quarz-, Quarzglas und Glaswafer

Silicum-Wafer werden aus über das Czochralski- (CZ-) oder Floatzone- (FZ-) Verfahren hergestellten Einkristallen gefertigt. Die deutlich teureren FZ-Wafer sind in erster Linie dann sinnvoll, wenn sehr hochohmige Wafer (> 100 Ohm cm) gefordert werden welche über das CZ-Verfahren nicht machbar sind.

Quarzwafer bestehen aus einkristallinem SiO_2, Hauptkriterium ist hier die Kristallorientierung bzgl. der Waferoberfläche (z. B. X-, Y-, Z-, AT- oder ST-Cut)

Quarzglaswafer bestehen aus amorphem SiO_2. Sog. JGS2-Wafer sind im Bereich von ca. 280 - 2000 nm Wellenlänge weitgehend transparent, die teureren JGS1-Wafer bei ca. 220 - 1100 nm.

Unsere Glaswafer bestehen wenn nicht anders angegeben aus im Floatverfahren hergestelltem Borosilikatglas.

Spezifikationen

Für alle Wafer relevant sind Durchmesser, Dicke und Oberfläche (1- oder 2-seitig poliert). Bei Quarzglaswafern ist die Frage nach dem Material (JGS1 oder JGS2) zu klären, bei Quarzwafern die Kristallorientierung. Bei Silicium-Wafern gibt es neben der Kristallorientierung (<100> oder <111>) die Parameter Dotierung (n- oder p-Typ) sowie die elektrische Leitfähigkeit (in Ohm cm)

Prime- Test- und Dummy-Wafer

Bei Silicium-Wafern gibt neben dem üblichen „Prime-grade“ auch „Test-grade“ Wafer, die sich meist nur in einer etwas breiteren Partikelspezifikation von Prime-Wafern unterscheiden. „Dummy-Wafern“ erfüllen aus unterschiedlichen Gründen (z. B. sehr breite oder fehlenden Spezifizierung bestimmter Parameter, evtl. auch Reclaim-Wafer und solche völlig ohne Partikelspezifikation) weder Prime- noch Test-grade, können jedoch für z. B. Belackungstests oder das Einfahren von Equipment eine sehr preiswerte Alternative sein.

Unsere Silicium-, Quarz-, Quarzglas und Glaswafer

Eine ständig aktualisierte Liste der aktuell verfügbaren Wafer finden Sie hier: **è** www.microchemicals.com/de/produkte/wafer/waferlist.html

Weitere Produkte aus unserem Portfolio

Galvanik

Elektrolyte und Hilfsstoffe für die elektrochemische Abscheidung von z. B. Gold, Kupfer, Nickel, Zinn oder Palladium: **è** www.microchemicals.com/de/produkte/galvanik.html

Lösemittel (MOS, VLSI, ULSI)

Aceton, Isopropanol, MEK, DMSO, Cyclopentanon, Butylacetat, u. a. **è** www.microchemicals.com/de/produkte/loesungsmittel.html

Säuren und Basen (MOS, VLSI, ULSI)

Salzsäure, Schwefelsäure, Salpetersäure, KOH, TMAH, u. a. **è** www.microchemicals.com/de/produkte/saeuren_basen.html

Ätzmischungen

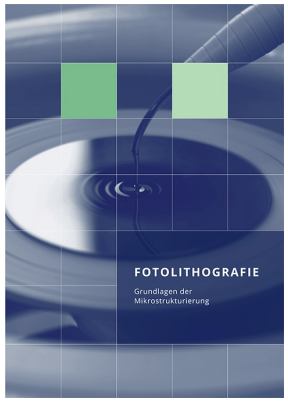
Für z. B. Chrom, Gold, Silicum, Kupfer, Titan, Titan / Wolfram u. a. **è** www.microchemicals.com/de/produkte/aetzmischungen.html

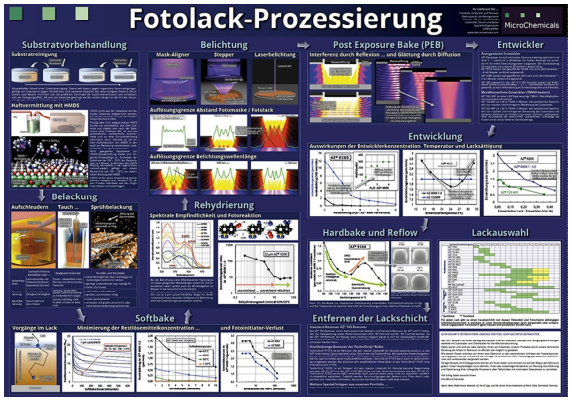
Weiterführende Informationen

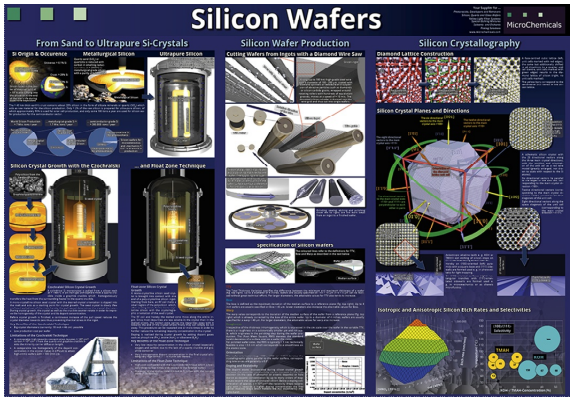
Technische Datenblätter: www.microchemicals.com/de/downloads/technische_datenblaetter/fotolacke.html

Sicherheitsdatenblätter: www.microchemicals.com/de/downloads/sicherheitsdatenblaetter/sicherheitsdatenblaetter.html

Unsere Lithografiebücher und -Poster







Wir sehen es als unsere Aufgabe, Ihnen möglichst alle Aspekte der Mikrostrukturierung anwendungsorientiert verständlich zu machen.

Diesen Anspruch umgesetzt haben wir derzeit mit unserem Buch **Fotolithografie** auf über 200 Seiten, sowie ansprechend gestalteten DIN A0 **Postern** für Ihr Büro oder Labor.

Beides senden wir Ihnen als unser Kunde gerne gratis zu (ggfalls. berechnen wir für außereuropäische Lieferungen Versandkosten):

www.microchemicals.com/de/downloads/broschueren.html

www.microchemicals.com/de/downloads/poster.html

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Gewährleistungs- und Haftungsausschluss & Markenrechte

Alle in diesem Dokument enthaltenen Informationen, Prozessbeschreibungen, Rezepturen etc. sind nach bestem Wissen und Gewissen zusammengestellt. Dennoch können wir keine Gewähr für die Korrektheit der Angaben übernehmen. Insbesondere bezüglich der Rezepturen für chemische (Ätz-)Prozesse übernehmen wir keine Gewährleistung für die korrekte Angabe der Bestandteile, der Mischverhältnisse, der Herstellung der Ansätze und deren Anwendung. Die sichere Reihenfolge des Mischens von Bestandteilen einer Rezeptur entspricht üblicherweise nicht der Reihenfolge ihrer Auflistung.

Wir garantieren nicht für die vollständige Angabe von Hinweisen auf (u. a. gesundheitliche, arbeitssicherheitstechnische) Gefahren, die sich bei Herstellung und Anwendung der Rezepturen und Prozesse ergeben. Die Angaben in diesem Buch basieren im Übrigen auf unseren derzeitigen Erkenntnissen und Erfahrungen. Sie befreien den Verwender wegen der Fülle möglicher Einflüsse bei Verarbeitung und Anwendung unserer Produkte nicht von eigenen Prüfungen und Versuchen. Eine Garantie bestimmter Eigenschaften oder die Eignung für einen konkreten Einsatzzweck kann aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden. Grundsätzlich ist jeder Mitarbeiter dazu angehalten, sich im Zweifelsfall in geeigneter Fachliteratur über die angedachten Prozesse vorab ausreichend zu informieren, um Schäden an Personen und Equipment auszuschließen. Alle hier vorliegenden Beschreibungen, Darstellungen, Daten, Verhältnisse, Gewichte, etc. können sich ohne Vorankündigung ändern und stellen nicht eine vertraglich vereinbarte Produktbeschaffenheit dar. Etwaige Schutzrechte sowie bestehende Rechtsvorschriften sind vom Verwender unserer Produkte in eigener Verantwortung zu beachten.

Merck, Merck Performance Materials, AZ, the AZ logo, and the vibrant M are trademarks of Merck KGaA, Darmstadt, Germany

MicroChemicals GmbH
Nicolaus-Otto-Str. 39
89079, Ulm
Germany

Fon: +49 (0)731 977 343 0
Fax: +49 (0)731 977 343 29
e-Mail: info@microchemicals.net
Internet: www.microchemicals.net